

# 配网自动化系统在提升供电可靠性中的作用评估

熊传锦

国网浙江省电力有限公司杭州市富阳区供电公司 浙江 杭州 311400

**摘要：**配网自动化系统（DAS）作为现代智能电网的重要组成部分，通过集成先进的传感、通信、控制与信息技术，实现了对配电网的实时监测、故障快速隔离与恢复、运行优化等功能，在提升供电可靠性方面发挥着关键作用。本文首先阐述了供电可靠性的内涵及其主要评价指标，继而系统分析了配网自动化系统的基本架构、关键技术及其在故障处理、运行优化等方面的功能机制。在此基础上，从理论方面构建了配网自动化系统在提升供电可靠性方面的量化评估模型。最后，针对当前系统部署中存在的问题与挑战，提出相应的优化建议与发展展望，以期对未来配电网智能化建设提供参考。

**关键词：**配网自动化；供电可靠性；故障定位；自愈控制；SAIDI；SAIFI

## 引言

近年来，随着分布式能源、电动汽车、储能系统等新型负荷与电源大量接入配电网，传统配电网面临结构复杂化、运行不确定性增加等新挑战。与此同时，用户对“不停电”或“少停电”的期望值持续攀升，供电企业亟需通过技术手段提升配电网的韧性与智能化水平。在此背景下，配网自动化系统应运而生并迅速发展。DAS通过构建“可观、可测、可控”的配电网运行体系，显著缩短了故障处理时间，减少了用户停电范围与时长，从而有效提升了供电可靠性。然而，DAS的建设投入较大，其效益评估尚缺乏统一标准，部分地区存在“重建设、轻应用”或“功能冗余、实效不足”的问题。因此，科学、系统地评估配网自动化系统在提升供电可靠性中的实际作用，不仅具有重要的理论价值，也对指导工程实践、优化投资决策具有现实意义。

## 1 供电可靠性内涵与评价指标体系

### 1.1 供电可靠性的定义

供电可靠性是指电力系统在规定条件下和规定时间内，向用户提供连续、稳定电能的能力。它反映了电力系统满足用户用电需求的程度，是衡量供电服务质量的核心指标。

### 1.2 主要评价指标

国际上广泛采用的供电可靠性评价指标主要包括：

#### 1.2.1 系统平均停电频率指标（SAIFI）：

表示每个用户在统计周期内平均经历的停电次数。

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i}$$

其中， $\lambda_i$ 为第*i*类用户年均停电次数， $N_i$ 为其用户数。

#### 1.2.2 系统平均停电持续时间指标（SAIDI）：

表示每个用户在统计周期内平均停电的总时长（通常以分钟或小时计）。

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

其中， $U_i$ 为第*i*类用户年均停电总时长。

#### 1.2.3 用户平均停电持续时间指标（CAIDI）：

表示每次停电事件的平均持续时间，反映故障恢复效率。

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

#### 1.2.4 平均供电可用率指标（ASAI）：

表示用户获得供电的时间占总时间的比例。

$$ASAI = \left(1 - \frac{SAIDI}{8760}\right) \times 100\%$$

上述指标中，SAIDI和SAIFI是最核心的两个指标，被国家能源局及各大电网公司广泛用于考核供电可靠性水平。

## 2 配网自动化系统架构与关键技术

### 2.1 系统总体架构

配网自动化系统的典型架构采用“主站—子站—终端”三层模式，形成自上而下、协同联动的控制体系。主站层通常部署于地市级或省级调度中心，承担全局监控、数据分析、策略生成与人机交互等核心职能，是整个系统的“大脑”。子站层作为可选中间环节，多设于变电站或区域配电中心，负责局部数据汇聚、边缘计算与就地控制，可在主站通信中断时维持基本自治运行能力<sup>[1]</sup>。终端层则由安装在开关站、环网柜、柱上开关及配电变压器等关键节点的馈线终端单元（FTU）、配电终端单元（DTU）和配变终端（TTU）构成，实现对电气量

与开关状态的实时采集与执行命令的精准下发。三层之间依托光纤专网、无线公网（如4G/5G）、低功耗广域网（如NB-IoT）或电力线载波等通信技术实现高效互联，确保信息流与控制流的低时延、高可靠传输，为系统整体功能的实现奠定基础。

## 2.2 核心功能模块

配网自动化系统通过集成多项核心功能，构建起覆盖监测、诊断、控制与优化的闭环管理体系。系统首先依托SCADA功能实现对全网电压、电流、功率因数及开关位置等运行参数的实时采集与可视化展示，为调度决策提供数据支撑。当发生短路或接地故障时，系统能够基于终端上报的过流或零序电流信号，结合网络拓扑结构进行逻辑推理，快速完成故障区段的识别与定位。随后，系统可自动或由调度员远程操控相关分段开关与联络开关，将故障点有效隔离，并将非故障区域负荷切换至备用电源，实现“秒级隔离、分钟级复电”的自愈目标。在正常运行状态下，系统还可开展无功优化、负荷均衡、电压调节等高级应用，提升电能质量与设备利用率。随着分布式电源大规模接入，DAS进一步扩展出对光伏、风电等间歇性电源的协调控制能力，保障配电网在源荷双向互动下的安全稳定运行。

## 2.3 关键技术支撑

配网自动化系统的高效运行依赖于多项关键技术的协同发展。智能终端技术的进步使得FTU/DTU具备高精度传感、嵌入式计算与边缘智能能力，能够在本地完成初步故障判别，减轻主站负担。通信技术的演进，特别是5G网络切片与电力物联网的融合，为海量终端提供了低时延、高带宽、高安全的连接通道，解决了传统无线通信在地下管廊或偏远山区覆盖不足的问题。拓扑自动识别技术则确保系统在配电网结构因检修或扩建发生变化后，能够动态更新网络模型，维持故障定位算法的准确性。此外，人工智能与大数据分析技术的引入，使系统具备从历史运行数据中挖掘设备劣化趋势、预测潜在故障风险的能力，推动运维模式从“被动抢修”向“主动预防”转变，从根本上提升系统可靠性。

## 3 配网自动化对供电可靠性的作用机制

### 3.1 缩短故障处理时间

配网自动化系统通过部署在馈线各关键节点的智能终端，能够在故障电流出现的瞬间捕捉异常信号，并将信息实时上传至主站。主站系统结合预置的网络拓扑模型，利用故障电流方向、幅值及时间序列特征，迅速锁定故障区段，整个过程通常在1至3分钟内完成<sup>[2]</sup>。随后，系统可自动生成隔离与转供方案，并通过遥控指令操作

相关开关，实现非故障区域的快速复电。从故障发生到大部分用户恢复供电的全过程可压缩至15分钟以内，相较传统模式效率提升一个数量级以上，显著降低了单次故障对用户造成的停电时长，直接改善SAIDI指标。

### 3.2 减少停电影响范围

配网自动化系统通过合理配置分段开关，将长馈线划分为若干独立供电区段，形成“网格化”供电结构。当某一区段发生永久性故障时，系统仅需断开该区段两端的开关即可实现电气隔离，其余区段则可通过预先设定的联络开关从相邻馈线获取电源，继续正常供电。这种“局部故障、局部停电”的运行模式，大幅缩小了单次故障的影响范围。例如，若一条馈线服务1000户用户，传统模式下一次故障影响全部用户；而经自动化改造后，若故障仅发生在占30%负荷的区段，则70%的用户不受影响。这种精细化的故障管理机制有效降低了SAIFI与SAIDI的分子项，是提升整体供电可靠性的关键路径。

### 3.3 提升系统自愈能力

所谓自愈，是指配电网在无需或仅需少量人工干预的情况下，自动完成故障检测、隔离与恢复供电的全过程。DAS通过预设的自愈策略库，在主站或子站层面实现逻辑判断与控制执行的自动化。尤其在雷暴、台风等极端天气引发多点并发故障时，人工调度难以应对复杂局面，而自动化系统可并行处理多个故障事件，按优先级依次恢复重要负荷，极大提升了系统在扰动下的韧性与恢复速度<sup>[3]</sup>。这种“自主响应、快速复原”的能力，不仅减少了用户停电时间，也显著降低了调度人员的工作强度与误操作风险，为高可靠性供电提供了坚实保障。

### 3.4 支持主动运维与预防性控制

系统长期积累的运行数据为设备状态评估提供了丰富样本。通过对电流、温度、局放等参数的趋势分析，可识别出电缆接头老化、变压器重过载、三相不平衡等潜在隐患。基于这些预警信息，运维部门可提前安排计划检修或调整运行方式，避免小缺陷演变为大故障。例如，某区域配变连续一周出现夜间轻度过载，系统可提示增容或负荷转移建议；某线路零序电流缓慢上升，可能预示绝缘劣化，需安排红外测温或局放检测。这种由“事后抢修”向“事前预防”的运维范式转变，从源头上降低了故障发生率，实现了供电可靠性的根本性提升。

## 4 配网自动化系统提升供电可靠性的量化评估模型

假设某馈线未配置DAS时，年均故障次数为 $\lambda_0$ ，平均故障修复时间为 $T_{\text{repair}}$ ，故障影响用户数为 $N_0$ 。则其对SAIDI的贡献为：

$$SAIDI_0 = \frac{\lambda_0 \cdot T_{\text{repair}} \cdot N_0}{N_{\text{total}}}$$

部署DAS后,故障定位与隔离时间缩短为 $T_{\text{isolate}}$ (通常 $< 5$ 分钟),非故障区段恢复时间 $T_{\text{restore}}$ (通常 $< 10$ 分钟),且仅部分用户 $N_f < N_0$ 停电。则:

$$SAIDI_{\text{DAS}} = \frac{\lambda_0 \cdot (T_{\text{isolate}} + T_{\text{restore}}) \cdot N_f}{N_{\text{total}}}$$

若 $T_{\text{repair}} = 120$ 分钟,  $T_{\text{isolate}} + T_{\text{restore}} = 15$ 分钟,  $N_f/N_0 = 0.3$ , 则SAIDI可降低约96%。

## 5 当前挑战与优化建议

### 5.1 存在的问题

尽管配网自动化系统成效显著,但在大规模推广过程中仍面临多重挑战。部分偏远农村或城市地下管廊区域通信基础设施薄弱,导致终端设备在线率低,影响系统整体功能发挥。早期部署的部分FTU/DTU因设计标准不高或环境适应性差,存在误报、拒动或死机等问题,降低了系统可靠性。此外,配网自动化系统常与地理信息系统(GIS)、生产管理系统(PMS)、营销业务系统等独立建设,数据标准不一、接口封闭,形成信息孤岛,制约了跨系统协同分析与决策能力。运维队伍对自动化系统的理解仍停留在“遥控开关”层面,缺乏对自愈逻辑、拓扑分析等高级功能的掌握,导致系统潜能未能充分释放。最后,不同厂商设备在通信协议、数据模型等方面缺乏统一规范,互操作性差,增加了系统集成与后期维护的复杂度。

### 5.2 优化建议

为克服上述问题,需从技术、管理、标准等多维度协同推进。首先,应加快通信基础设施升级,结合5G网络切片、电力物联网平台等新技术,构建覆盖全域、安全可靠的通信底座,尤其强化地下、山区等薄弱区域的信号覆盖。其次,建立智能终端设备准入与质量抽检机制,推动高可靠性、国产化终端的研发与应用,提升现

场设备的稳定性与寿命。第三,深化业务系统融合,推动DAS与调度、运维、客服等系统在数据模型、服务接口上的统一,构建“一平台多应用”的数字化配电网生态<sup>[4]</sup>。第四,加强复合型人才培养,通过仿真培训、实战演练等方式,提升运维人员对自动化系统的理解深度与操作能力。最后,加快制定并强制执行统一的设备接口、通信协议与信息安全标准,打破厂商壁垒,促进开放、兼容、可持续的产业生态形成。

## 6 结语

配网自动化系统作为提升供电可靠性的关键技术手段,通过实现故障快速定位、精准隔离与高效恢复,显著降低了用户停电频率与时长。未来,随着人工智能、数字孪生、云边协同等新技术的深度融合,配网自动化将向“全景感知、智能决策、自主运行”的更高阶段演进。新一代DAS将不仅关注“故障后处理”,更强调“故障前预测”与“运行态优化”,真正实现配电网的“自愈、自治、自优”。在此过程中,需统筹技术、管理、标准与人才等多维度协同发展,方能充分发挥配网自动化在构建新型电力系统、服务“双碳”目标中的战略支撑作用。

## 参考文献

- [1]潘星,丁飞.配网自动化系统提升供电可靠性的技术路径[J].智慧中国,2025,(09):52-53.
- [2]施锦月,张郁,贾露露,等.基于电力自动化系统的配电网供电可靠性提升技术研究[J].中国高科技,2024,(17):77-79.
- [3]张发骏,赵媛媛,方星.基于配网自动化系统的单电源变电站供电可靠性提升方案[J].装备维修技术,2020,(02):261.
- [4]陈夕.配网自动化对供电可靠性的影响及对策研究[J].海峡科学,2025,(07):57-60.